

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 989 656 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
29.03.2000 Patentblatt 2000/13

(51) Int Cl.7: H02K 7/09

(21) Anmeldenummer: 99810553.0

(22) Anmeldetag: 22.06.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

• LUST ANTRIEBSTECHNIK GmbH  
D-35633 Lahnau (DE)

(72) Erfinder: Schöb, Reto, Dr.  
8604 Volketswill (CH)

(30) Priorität: 24.09.1998 EP 98810956

(74) Vertreter: Sulzer Management AG  
KS/Patente/0007,  
Zürcherstrasse 12  
8401 Winterthur (CH)

(71) Anmelder:  
• Sulzer Electronics AG  
8409 Winterthur (CH)

## (54) Permanentmagnetisch erregter elektrischer Drehantrieb

(57) Es wird ein permanentmagnetisch erregter elektrischer Drehantrieb für eine Blutpumpe vorgeschlagen, mit einem permanentmagnetischen Rotor (2) und einem Stator (3), welcher Stator (3) eine mindestens zwei Stränge (31,32,33) aufweisende Antriebswicklung zum Erzeugen eines magnetischen Antriebsfelds umfasst, das ein Drehmoment auf den Rotor (2) bewirkt, wobei jeder Strang (31,32,33) zu einer anderen

elektrischen Phase gehört, ferner mit einer Stelleinrichtung (4), die jeden Strang (31,32,33) jeweils mit einem Phasenstrom ( $I_a, I_b, I_c$ ) oder jeweils mit einer Phasenspannung ( $U_a, U_b, U_c$ ) als Stellgrösse versorgt, wobei die Stelleinrichtung (4) für jeden Strang einen separaten Leistungsverstärker (41a,41b,41c) umfasst, sodass die Stellgrösse für jeden Strang (31,32,33) unabhängig von der Stellgrösse für die anderen Stränge regelbar ist.

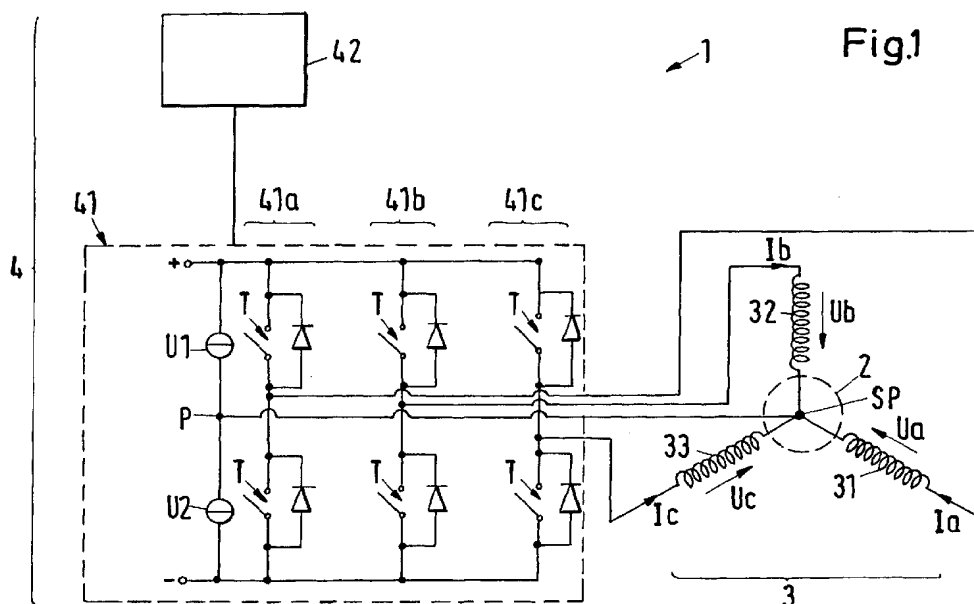


Fig.1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen permanentmagnetisch erregten elektrischen Drehantrieb für eine Blutpumpe gemäss dem Oberbegriff des unabhängigen Anspruchs sowie eine Blutpumpe mit einem solchen Drehantrieb.

**[0002]** Blutpumpen, die üblicherweise als Axial- oder als Zentrifugalpumpen ausgestaltet sind, dienen der Förderung von Blut und werden beispielsweise im Rahmen von Operationen am Herzen zur Aufrechterhaltung des Blutkreislaufs eingesetzt. Ferner sind implantierbare Blutpumpen bekannt, die zur temporären oder chronischen Unterstützung der Herzfähigkeit in den Körper des Patienten implantiert werden.

**[0003]** Bei Blutpumpen muss es gewährleistet sein, dass es zu keiner Verunreinigung des geförderten Bluts kommt. Daher wird in Blutpumpen der Rotor des elektromagnetischen Antriebs und/oder der Pumpenrotor vorzugsweise magnetisch berührungslos gelagert. Diese magnetische Lagerung des Rotors kann entweder durch separate, das heisst vom Antrieb verschiedene Magnetlager realisiert werden, oder die magnetische Lagerung wird durch den Stator des Antriebs realisiert.

**[0004]** In der WO-A-96/31934 wird beispielsweise eine als Blutpumpe geeignete Rotationspumpe offenbart, die als sogenannter lagerloser Motor ausgestaltet ist, das heisst als elektromagnetischer Drehantrieb mit magnetisch berührungslos gelagertem Rotor, wobei keine separaten Magnetlager für den Rotor vorhanden sind. Der Stator ist dazu als Lager- und Antriebsstator ausgestaltet, der eine Antriebswicklung und eine Steuerwicklung umfasst. Mit diesen beiden Wicklungen lässt sich ein magnetisches Drehfeld erzeugen, welches zum einen ein Drehmoment auf den Rotor ausübt, und welches zum anderen eine beliebig einstellbare Querkraft auf den Rotor ausübt, sodass dessen radiale Position aktiv steuerbar ist.

**[0005]** Weiterhin sollen Blutpumpen, insbesondere im Falle einer Implantation in den Körper, kompakt und platzsparend sein, aber dennoch eine Pumpleistung erbringen können, die zumindest derjenigen des Herzens entspricht. Hierzu wird z. B. in der WO-A-96/31934 vorgeschlagen, den Rotor des lagerlosen Motors mit Flügeln zu versehen, sodass der Rotor des Drehantriebs identisch mit dem Pumpenrotor ist, also einen Integralrotor bildet. Dieser Rotor dient somit als Antriebsrotor, Lagerrotor und Pumpenrotor, wodurch eine sehr kompakte und leistungsfähige Blutpumpe realisierbar ist.

**[0006]** Es sind aber auch Blutpumpen bekannt, bei denen der Pumpenrotor mit welchem das Blut gefördert wird, vom Rotor des Drehantriebs verschieden ist. Der Pumpenrotor ist als Flügel- oder Laufrad ausgestaltet, welches vom Rotor des Drehantriebs in Rotation versetzt wird. Dazu können solche Blutpumpen beispielsweise nach dem Prinzip des Spaltrohrmotors bzw. der Spaltrohrpumpe ausgestaltet sein, oder der Pumpenrotor kann magnetisch an den Rotor des Drehantriebs ge-

koppelt sein.

**[0007]** Eine wesentliche Bedeutung, insbesondere im Hinblick auf implantierbare Blutpumpen, kommt der Betriebssicherheit zu. Ein Problem bei bekannten Drehantrieben für Blutpumpen ist es, dass beim Auftreten von Fehlern, wie beispielsweise dem Ausfall einer Verstärkerstufe oder dem Bruch einer elektrischen Leitung in einer der Phasen der Antriebswicklung des Stators, ein ordnungsgemässes Funktionieren des Antriebs nicht mehr gewährleistet ist. Ein daraus resultierendes Versagen des Antriebs einer Blutpumpe kann jedoch sehr schlimme, eventuell sogar tödliche Folgen haben kann. Die Erfindung widmet sich daher der Aufgabe, dieses Sicherheitsrisiko deutlich zu reduzieren.

**[0008]** Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen elektrischen Drehantrieb für eine Blutpumpe bereitzustellen, der auch beim Auftreten von Fehlern noch einen ordnungsgemässen Betrieb, das heisst insbesondere einen zuverlässigen Antrieb des Rotors, ermöglicht.

**[0009]** Der diese Aufgabe lösende elektrische Drehantrieb für eine Blutpumpe ist durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs gekennzeichnet.

**[0010]** Erfindungsgemäss wird also ein permanentmagnetisch erregter elektrischer Drehantrieb für eine Blutpumpe vorgeschlagen, mit einem permanentmagnetischen Rotor und einem Stator, welcher Stator eine mindestens zwei Stränge aufweisende Antriebswicklung zum Erzeugen eines magnetischen Antriebsfelds umfasst, das ein Drehmoment auf den Rotor bewirkt, wobei jeder Strang zu einer anderen elektrischen Phase gehört, ferner mit einer Stelleinrichtung, die jeden Strang jeweils mit einem Phasenstrom oder jeweils mit einer Phasenspannung als Stellgrösse versorgt, wobei die Stelleinrichtung für jeden Strang einen separaten Leistungsverstärker umfasst, sodass die Stellgrösse für jeden Strang unabhängig von der Stellgrösse für die anderen Stränge regelbar ist.

**[0011]** Da die Stellgrösse, das heisst die Phasenspannungen oder die Phasenströme, für jeden Strang der Antriebswicklung unabhängig von den Stellgrössen für die anderen Stränge regelbar ist und zudem für jeden Strang ein eigener Leistungsverstärker vorgesehen ist, ist jede elektrische Phase, womit jeweils ein Strang der Antriebswicklung und der ihn versorgenden Teil der Stelleinrichtung gemeint ist, unabhängig von den übrigen elektrischen Phasen betreibbar. Somit kann der Drehantrieb beim Auftreten eines Fehlers in einer Phase, z. B. beim Ausfall einer kompletten Phase, mit einer reduzierten Anzahl von Phasen weiter betrieben werden, ohne dass Zugeständnisse an das ordnungsgemässe Funktionieren des Drehantriebs vonnöten sind. Da der erfindungsgemässe Drehantrieb mit einer reduzierten Anzahl von Phasen betrieben werden kann, ist es grundsätzlich egal, wo in einer Phase ein Fehler auftritt. So kann beispielsweise ein Leistungsverstärker ausfallen, oder es kann zum Bruch einer Leitung in einem Strang der Antriebswicklung oder in der Verbin-

dung zwischen Leistungsverstärker und einem Strang der Antriebswicklung kommen, oder es kann ein Kurzschluss in einem Leistungsverstärker oder einem Wicklungsstrang der Antriebswicklung auftreten, und trotz eines solchen Fehlers ist ein weiterer Betrieb des Drehantriebs möglich. Aufgrund dieser hohen Fehlertoleranz bringt der erfindungsgemässe Drehantrieb eine erhebliche Steigerung der Betriebssicherheit mit sich.

**[0012]** Je nachdem, mit wievielen Phasen der erfindungsgemässe Drehantrieb ausgestaltet ist, kann er sogar beim Ausfall mehrere Phasen noch weiter betrieben werden. Die minimale Anforderung für die Funktionstüchtigkeit des Drehantriebs ist es, dass noch eine Phase, also ein Strang der Antriebswicklung und der ihn versorgende Leistungsverstärker, fehlerfrei arbeitet.

**[0013]** Der erfindungsgemässe Drehantrieb mit seiner im fehlerfreien Normalfall mindestens zweiphasigen Ausgestaltung ist ein permanentmagnetisch erregter Drehfeldmotor, also insbesondere ein permanentmagnetisch erregter Synchronmotor oder ein bürstenloser Gleichstrommotor (letzterer ist trotz seines allgemein üblichen Namens dem Wesen nach ein Drehfeldmotor). Das heisst, das vom Stator erzeugte Antriebsfeld ist ein magnetisches Drehfeld, welches den permanentmagnetischen Rotor antreibt. Falls durch einen Fehler in einer Phase oder mehreren Phasen nur noch eine fehlerfreie Phase für den Betrieb zur Verfügung steht, so wird der Drehfeldmotor zu einem einphasigen Wechselstrommotor.

**[0014]** Da im allgemeinen für Blutpumpen und insbesondere für implantierte Blutpumpen kein beliebig grosser Energievorrat zu Verfügung steht, ist es wichtig, dass der Drehantrieb einer Blutpumpe möglichst wirtschaftlich und mit möglichst geringem Energieverbrauch arbeitet. Da der erfindungsgemässe Drehantrieb permanentmagnetisch erregt ist, also einen permanentmagnetisch erregten Rotor aufweist, ist er im Unterschied zu felderregten Drehantrieben besonders gut für Blutpumpen geeignet, denn in einem permanentmagnetisch erregten Drehantrieb wird kein Strom und damit keine Energie für die Felderregung benötigt.

**[0015]** Gemäss einem ersten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Drehantriebs ist ein belastbarer Sternpunkt vorgesehen, der mit jedem Strang der Antriebswicklung verbunden ist. Bei üblichen mehrphasigen, z. B. dreiphasigen Antriebswicklungen sind die drei Stränge jeweils mit einem gemeinsamen Sternpunkt verbunden, wobei die Bedingung erfüllt sein muss, dass die Summe der Phasenströme im Sternpunkt stets Null ist. Durch die Massnahme, den Sternpunkt belastbar zu machen, das heisst ihn auf ein belastbares Potential zu legen, kann diese Bedingung aufgehoben werden, sodass jeder Phasenstrom bzw. jede Phasenspannung unabhängig von den anderen regelbar ist.

**[0016]** Vorzugsweise sind bei diesem Ausführungsbeispiel zwei stabilisierte Spannungsquellen zur Versorgung der Stelleinrichtung vorgesehen, wobei die Span-

nungsquellen einen gemeinsamen Pol aufweisen und wobei der belastbare Sternpunkt auf dem gleichen Potential liegt wie der gemeinsame Pol der Spannungsquellen. Der gemeinsame Pol kann beispielsweise auf Erdpotential liegen. Die eine Spannungsquelle liefert dann eine positive Versorgungsspannung und die andere Spannungsquelle eine negative Versorgungsspannung.

**[0017]** In einem zweiten bevorzugten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Drehantriebs weist jeder Strang der Antriebswicklung zwei elektrische Anschlussleitungen auf, wobei die Anschlussleitungen eines Strangs jeweils getrennt und unabhängig von den übrigen Anschlussleitungen sind. Jeder Leistungsverstärker ist dann mit genau zwei Anschlussleitungen verbunden, wobei diese beiden Anschlussleitungen zum selben Strang gehören. Bei diesem Ausführungsbeispiel werden also für jeden Strang der Antriebswicklung zwei Anschlussleitungen bis zu dem Leistungsverstärker geführt, der diesen Strang versorgt. Es existiert also kein gemeinsamer Verbindungspunkt, wie z. B. ein Stempunkt, an dem Anschlussleitungen, die zu unterschiedlichen Strängen gehören, zusammengeführt bzw. elektrisch leitend verbunden werden. Auch durch diese Massnahme ist es möglich, die Stellgrösse (Phasenstrom oder Phasenspannung) für jeden Strang unabhängig von der Stellgrösse für die anderen Stränge zu regeln.

**[0018]** Aus praktischen Gründen ist es dabei bevorzugt, dass jeder Leistungsverstärker als H-Brückenschaltung ausgestaltet ist. Eine weitere vorteilhafte Massnahme besteht darin, ein Überwachungsmodul vorzusehen, welches beim Auftreten eines Fehlers in einer der elektrischen Phasen diese deaktiviert. Somit kann nämlich ein unnötiger Energieverbrauch in einer fehlerbehafteten Phase, der beispielsweise durch einen Kurzschlussstrom verursacht werden kann, vermieden werden.

**[0019]** Insbesondere ist es vorteilhaft, für jede elektrische Phase eine Überstromsicherung vorzusehen, damit beim Auftreten eines Kurzschlusses die zugehörige Phase abgeschaltet wird. Somit lässt sich eine hoch unsymmetrische Belastung der Energiequelle, welche die Leistungsverstärker speist, vermeiden.

**[0020]** Der erfindungsgemässe Drehantrieb kann insbesondere auch als lagerloser Motor (in dem vorne erläuterten Sinne) ausgebildet sein, der den Rotor des Drehantriebs magnetisch lagert, wobei der Stator als Antriebs- und Lagerstator ausgestaltet ist, der ausser der Antriebswicklung ferner eine Steuerwicklung umfasst.

**[0021]** Durch die Erfindung wird ferner eine Blutpumpe mit einem erfindungsgemässen permanentmagnetisch erregten elektrischen Drehantrieb vorgeschlagen. Durch die Fehlertoleranz des Drehantriebs zeichnet sich eine solche Blutpumpe durch eine sehr hohe Betriebssicherheit aus, sodass sie insbesondere auch für die Implantation in einen Körper verwendet werden

kann. Insbesondere in Kombination mit einer fehlertoleranten magnetischen Lagervorrichtung für den Rotor ist eine Blutpumpe realisierbar, die - wenn überhaupt - nur noch mit einem minimalen Sicherheitsrisiko behaftet ist.

**[0022]** Um die Blutpumpe besonders kompakt auszugestalten, kann der Rotor des Drehantriebs als Pumpenrotor zum Fördern des Bluts ausgestaltet sein, das heisst in sinngemäss gleicher Weise wie dies z. B. für den Integralrotor in der bereits zitierten WO-A-96/31934 offenbart ist, ist der Rotor des Drehantriebs identisch mit dem Pumpenrotor.

**[0023]** Weitere vorteilhafte Massnahmen und bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

**[0024]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und anhand der Zeichnungen näher erläutert. In der schematischen, nicht massstäblichen Zeichnung zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemässen Drehantriebs,

Fig. 2: eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemässen Drehantriebs, und

Fig. 3: eine schematische Darstellung einer Blutpumpe mit einem erfindungsgemässen Drehantrieb.

**[0025]** Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen permanentmagnetisch erregten elektrischen Drehantriebs, der gesamthaft mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet ist. Der Drehantrieb 1 umfasst einen permanentmagnetischen Rotor 2, einen Stator 3 und eine Stelleinrichtung 4 mit einer Verstärkereinheit 41 und einer Regeleinheit 42.

**[0026]** Der Stator 3 weist eine Antriebswicklung auf, welche bei diesem Ausführungsbeispiel drei Stränge 31, 32, 33 hat, die jeweils zu einer anderen elektrischen Phase gehören, das heisst, die Antriebswicklung ist dreiphasig ausgestaltet. Mittels der Antriebswicklung ist ein magnetisches Drehfeld als Antriebsfeld erzeugbar, das ein Drehmoment auf den Rotor 2 bewirkt, wodurch dieser in Rotation versetzt wird.

**[0027]** Im Folgenden wird auf den für die Praxis besonders wichtigen Fall Bezug genommen, dass die Antriebswicklung dreiphasig mit den drei Strängen 31, 32, 33 ausgestaltet ist. Es versteht sich jedoch, dass der erfindungsgemässe Drehantrieb in sinngemäss gleicher Weise auch zweiphasig, das heisst mit einer Antriebswicklung, die zwei Stränge aufweist, oder n-phasig (mit  $n > 3$ ), das heisst mit einer Antriebswicklung, die n Stränge umfasst, ausgestaltet sein kann.

**[0028]** Die Antriebswicklung mit den drei Strängen 31, 32, 33 ist in an sich bekannter Weise auf den Stator

3 gewickelt und bildet somit mehrere diskrete Spulen zum Erzeugen des magnetischen Antriebsfelds. Dabei können mehrere diskrete Spulen elektrisch in einer Parallelschaltung oder in einer Serienschaltung miteinander verbunden sein. Die Gesamtheit aller der diskreten Spulen, die miteinander elektrisch parallel oder seriell verbunden sind, wird als ein Strang 31 oder 32 oder 33 der Antriebswicklung bezeichnet. Natürlich ist es auch möglich, dass jeder Strang 31, 32, 33 nur eine diskrete Spule umfasst.

**[0029]** Jeder Strang bildet mit dem ihn versorgenden Teil der Stelleinrichtung 4 eine separate elektrische Phase. Die Stelleinrichtung 4 kann jeden Strang 31, 32, 33 jeweils mit einem Phasenstrom Ia, Ib, Ic oder einer Phasenspannung Ua, Ub, Uc als Stellgrösse versorgen. Die Stelleinrichtung 4 kann also als Stromsteller oder als Spannungssteller für die Antriebswicklung ausgebildet sein.

**[0030]** Das erste Ausführungsbeispiel ist also ein dreiphasiger, permanentmagnetisch erregter Drehfeldmotor. Erfindungsgemäss umfasst die Stelleinrichtung 4 für jeden Strang 31, 32, 33 einen separaten Leistungsverstärker 41a, 41b, bzw. 41c, sodass die Stellgrösse Ia, Ib, Ic bzw. Ua, Ub, Uc für jeden Strang 31, 32 oder 33 unabhängig von der Stellgrösse für die anderen Stränge regelbar ist.

**[0031]** Bei dem ersten Ausführungsbeispiel sind die drei Leistungsverstärker 41a, 41b, 41c jeweils Brückenzweige einer Verstärkereinheit 41, die beispielsweise Teil eines dreiphasigen Drehstromstellers sind, von dem in Fig. 1 nur der Leistungsteil dargestellt ist. Die Signalverarbeitungs- und Regeleinrichtungen, die beispielsweise ganz oder teilweise in der als integrierte Schaltung ausgestalteten Verstärkereinheit 41 integriert sein können, sind in Fig. 1 in symbolischer Weise in der Regeleinheit 42 zusammengefasst.

**[0032]** Für jeden Strang 31, 32, 33 der Antriebswicklung ist jeweils ein Brückenzweig der Verstärkereinheit 41 als separater bipolarer Leistungsverstärker 41a, 41b bzw. 41c vorgesehen. Jeder Brückenzweig kann in an sich bekannter Weise mittels Schalttransistoren T und Freilaufdioden den zugehörigen Strang 31 oder 32 oder 33 mit dem jeweiligen Phasenstrom Ia, Ib, Ic oder der jeweiligen Phasenspannung Ua, Ub, Uc versorgen. Die Schalttransistoren T sind vorzugsweise Feldeffekttransistoren (FET). Die Verstärkereinheit 41 wird mit zwei Betriebspotentialen betrieben, die in Fig. 1 mit + und - bezeichnet sind. Diese Betriebspotentiale +, - sind Gleichspannungspotentiale. Für die Speisung der Verstärkereinheit 41 sind zwei stabilisierte Spannungsquellen U1 und U2 vorgesehen, die einen gemeinsamen Pol P aufweisen. Der gemeinsame Pol P liegt auf einem Potential, dass zwischen den beiden Betriebspotentialen + und - liegt, beispielsweise auf Erdpotential. Die eine Spannungsquelle U1 liefert dann die bezüglich des gemeinsamen Pols P positive Versorgungsspannung und die andere Spannungsquelle U2 die bezüglich des gemeinsamen Pols P negative Versorgungsspannung.

**[0033]** Jeder Strang 31,32,33 ist einerseits mit dem ihn versorgenden bipolaren Leistungsverstärker 41a, 41b, 41c verbunden. Andererseits ist jeder Strang mit einem gemeinsamen belastbaren Sternpunkt SP verbunden, der auf dem gleichen Potential liegt, wie der gemeinsame Pol P der Spannungsquellen U1, U2. Der Sternpunkt SP ist beispielsweise über eine elektrische Leitung direkt mit dem gemeinsamen Pol P der Spannungsquellen U1, U2 verbunden. Die drei Stränge 31,32,33 der Antriebswicklung sind also in einer Sternpunktschaltung geschaltet, wobei jedoch der Sternpunkt SP belastbar ist, das heisst mit einem belastbaren Potential verbunden ist, sodass, abgesehen von den drei Phasenströmen Ia,Ib,Ic ein zusätzlicher Strom über den Sternpunkt SP abfließen bzw. in diesen hineinfließen kann. Das bedeutet, die übliche Sternpunktbedingung, dass die Summe der Phasenströme Ia,Ib,Ic im Sternpunkt SP immer Null sein muss, ist bei dieser Schaltung nicht mehr notwendig. Dies hat zur Folge, dass jeder Phasenstrom Ia,Ib,Ic vollkommen unabhängig von den anderen Phasenströmen geregelt werden kann. Zur Bestimmung der einzelnen Phasenströme Ia, Ib,Ic können in den einzelnen Phasen jeweils Strommessgeräte (nicht dargestellt) vorgesehen sein.

**[0034]** Im normalen Betriebszustand, das heisst wenn alle drei Phasen fehlerfrei sind, arbeitet der dreiphasige Drehantrieb 1 in der an sich bekannten Weise. Die Drehzahl des Rotors 2 wird mittels eines Drehzahlreglers geregelt, der beispielsweise in der Regeleinheit 42 integriert ist. Ferner können Sensoren (nicht dargestellt) vorgesehen sein, aus deren Signal der Drehzahlregler die momentane Drehzahl des Rotors 2 ermittelt. Weicht die Drehzahl von einer vorgebbaren Soll-Drehzahl ab, so modifiziert der Drehzahlregler durch eine entsprechende Ansteuerung der Verstärkereinheit die einzelnen Phasenströme Ia,Ib,Ic oder die einzelnen Phasenspannungen Ua,Ub,Uc derart, dass der Rotor 2 seine Soll-Drehzahl erreicht.

**[0035]** Falls in einer der elektrischen Phasen ein Fehler auftritt, beispielsweise ein Unterbruch in einer elektrischen Leitung eines Strangs 31,32,33, so ist grundsätzlich keine Massnahme notwendig. Sobald nämlich der Drehzahlregler eine Abweichung der momentanen Rotordrehzahl von der Soll-Drehzahl detektiert, die beispielsweise daraus resultiert, dass einer der Stränge 31,32 oder 33 ausfällt, so erhöht der Drehzahlregler automatisch die Phasenströme bzw. die Phasenspannungen in den beiden fehlerfreien Strängen, sodass der Rotor wieder mit seiner Soll-Drehzahl läuft. Dies ist möglich, weil die einzelnen Phasenströme Ia,Ib,Ic bzw. die einzelnen Phasenspannungen Ua,Ub,Uc vollkommen unabhängig voneinander regelbar sind. Somit ist auch beim kompletten Ausfall einer Phase, die beispielsweise durch den Ausfall eines bipolaren Leistungsverstärkers 41a,41b,41c oder durch einen Leitungsdefekt in einem der Stränge 31,32,32 oder in der Verbindung zwischen einem Strang und dem zugehörigen Leistungsverstärker verursacht wird, eine ordnungsgemässe Ar-

beitsweise des Drehantriebs 1 mit den noch verbleibenden fehlerfreien Phasen gewährleistet.

**[0036]** Bei einer drei- oder mehrphasigen Ausgestaltung des Drehantriebs 1 kann dieser sogar bei einem Ausfall von zwei oder mehr Phasen noch ordnungsgemäss mit der verbleibenden fehlerfreien Phase bzw. den verbleibenden fehlerfreien Phasen betrieben werden. Die Minimalanforderung ist es, dass noch eine der Phasen fehlerfrei arbeitet. Falls nur noch eine der Phasen fehlerfrei ist, so arbeitet der Drehantrieb 1 als einphasiger Wechselstrommotor. Solange der Drehantrieb 1 in diesem Falle nicht angehalten wird, dreht er weiter, arbeitet also noch korrekt. Falls ein solcher einphasiger Wechselstrommotor jedoch angehalten wird, ist es je nach relativer Stellung von Rotor 2 und Stator 3 möglich, dass der Drehantrieb 1 nicht mehr angefahren werden kann. Dem kann jedoch abgeholfen werden, indem der Stator 3 so ausgestaltet wird, dass der Rotor 2 beim Anhalten in einer vorgegebenen "Raststellung" stehen bleibt, die so gewählt wird, dass der Rotor 2 aus dieser Raststellung wieder anlaufen kann. Diese Massnahme ist von einphasigen Wechselstrommotoren hinreichend bekannt und wird daher hier nicht näher erläutert.

**[0037]** Fig. 2 zeigt in einer schematischen Darstellung ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Drehantriebs 1, wobei identische oder von der Funktion her gleichwertige Teile mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind wie in Fig. 1. Im Folgenden werden die Unterschiede zum ersten Ausführungsbeispiel beschrieben, ansonsten gelten die Ausführungen bezüglich des ersten Ausführungsbeispiels in sinngemäss gleicher Weise auch für das zweite Ausführungsbeispiel.

**[0038]** Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel weist jeder Strang 31,32,33 der Antriebswicklung des Stators 3 jeweils zwei elektrische Anschlussleitungen 51 und 52 auf, wobei die Anschlussleitungen 51,52 eines Strangs jeweils getrennt und unabhängig von den Anschlussleitungen 51,52 der anderen Stränge sind. Im Unterschied zum ersten Ausführungsbeispiel ist also kein gemeinsamer Sternpunkt vorgesehen, mit dem jeder Strang 31,32,33 der Antriebswicklung verbunden ist, sondern für jeden Strang werden jeweils beide Anschlussleitungen 51,52 aus dem Stator 3 herausgeführt und getrennt mit den Leistungsverstärkern 41a, 41b, 41c der Verstärkereinheit 41 verbunden. Somit ist jeder Leistungsverstärker 41a, 41b, 41c mit genau zwei Anschlussleitungen 51,52 verbunden, die zu demselben Strang 31 oder 32 oder 33 gehören.

**[0039]** Wie dies Fig. 2 zeigt, sind die einzelnen bipolaren Leistungsverstärker 41a,41b,41c für die Stränge 31,32,33 jeweils als H-Brückenschaltung ausgestaltet, wobei für jede Phase bzw. für jeden Strang 31,32,33 der Antriebswicklung ein separater Leistungsverstärker vorgesehen ist, sodass eine unabhängige Regelung der einzelnen Phasenströme Ia,Ib,Ic bzw. der einzelnen Phasenspannungen Ua,Ub,Uc möglich ist. Die H-Brückenschaltungen sind in an sich bekannter Weise mit

Schalttransistoren T und Freilaufdioden realisiert und werden mit den Betriebspotentialen + und - betrieben. Das Betriebspotential - ist beispielsweise das Erdpotential GND. Die Schalttransistoren T sind vorzugsweise Feldeffekttransistoren (FET) und insbesondere Leistungs-MOS-FET's.

**[0040]** Die prinzipielle Funktionsweise des zweiten Ausführungsbeispiels ist die gleiche wie die des ersten Ausführungsbeispiels.

**[0041]** Auch bei dem zweiten Ausführungsbeispiel brauchen grundsätzlich keine besonderen Massnahmen getroffen zu werden, um den Drehantrieb 1 beim Ausfall einer Phase oder mehrerer Phasen mit den verbleibenden fehlerfreien Phasen bzw. der verbleibenden fehlerfreien Phase weiter zu betreiben. Insbesondere kann der Drehantrieb auch dann noch weiter betrieben werden, wenn in einer Phase, z. B. in einem Strang 31, 32, 33 oder in einem Schalttransistor T des zugehörigen Leistungsverstärkers 41a, 41b, 41c, ein Kurzschluss auftritt. Da jedoch das Fließen von Kurzschlussströmen auch einen unnötigen und unnützen Energieverbrauch bedeutet, ist vorzugsweise ein Überwachungsmodul 6 vorgesehen, welche beim Auftreten eines Fehlers, insbesondere eines Kurzschlusses, in einer der elektrischen Phasen diese Phase deaktiviert. Das Überwachungsmodul 6 umfasst für jede Phase eine Überstromsicherung 61. Wie dies Fig. 2 zeigt, ist bei jedem Leistungsverstärker 41a, 41b, 41c zwischen der H-Brückenschaltung und einem der Betriebspotentiale +, - jeweils eine Überstromsicherung 61 zwischengeschaltet. Vorzugsweise ist die Überstromsicherung 61 seriell zwischen der H-Brückenschaltung und dem Betriebspotential - vorgesehen, welches hier das Erdpotential GND ist.

**[0042]** Die Überstromsicherung 61 umfasst ein Strommessgerät 611, ein Schaltelement 612, das vorzugsweise ein FET ist, sowie eine Überstromabschaltung 613. Die Überstromabschaltung 613 überwacht mittels des Strommessgeräts 611 die Stärke des fließenden Stroms. Falls dieser einen vorgebbaren Grenzwert überschreitet, öffnet die Überstromabschaltung 613 das Schaltelement 612, wodurch die zugehörige Phase abgeschaltet wird.

**[0043]** Die Überstromsicherung 61 kann alternativ auch jeweils eine schnelle Sicherung, beispielsweise eine Schmelzsicherung, sein, die in Serie zwischen der H-Brücke und einem der Betriebspotentiale +, - angeordnet ist.

**[0044]** Eine Überstromsicherung kann selbstverständlich auch in sinngemäss gleicher Weise in die Brückenzweige des in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiels eingebaut werden.

**[0045]** Alternativ oder ergänzend kann das Überwachungsmodul 6 auch andere Elemente umfassen, um beim Auftreten eines Fehlers in einer Phase diese Phase abzuschalten. Beispielsweise können in dem Überwachungsmodul 6 Mittel vorgesehen sein, um beim Auftreten eines Fehlers in einer Phase die Schalttransisto-

ren T des zugehörigen Leistungsverstärkers 41a oder 41b oder 41c so zu betätigen, dass in dieser Phase kein Strom mehr fließt (Öffnen der Schalter). Das Überwachungsmodul 6 kann ferner Mittel zum Detektieren von Fehlern aufweisen.

**[0046]** Abweichend von den beiden beschriebenen Ausführungsbeispielen sind natürlich auch noch andere Ausgestaltungen der Verstärkereinheit 41 möglich, beispielsweise andere Formen von Schaltverstärkern oder Analogverstärker. Wichtig ist jedoch, dass die Verstärkereinheit 41 so ausgebildet ist, dass sie bipolar betreibbar ist, womit gemeint ist, dass sowohl die Phasenströme als auch die Phasenspannungen positives und negatives Vorzeichen annehmen können. Zusätzlich muss die Verstärkereinheit 41 jede Phase mit jeweils einer Stellgrösse (Phasenstrom  $I_a, I_b, I_c$  bzw. Phasenspannung  $U_a, U_b, U_c$ ) versorgen können, die unabhängig von den Stellgrößen für die anderen Phasen regelbar ist.

**[0047]** Fig. 3 zeigt stark schematisiert eine Blutpumpe 10, die mit einem erfindungsgemässen Drehantrieb 1 betrieben wird. Die Blutpumpe 10 umfasst ein Gehäuse 11, in welchem ein Pumpenrotor 12 vorgesehen ist, der als Laufrad mit mehreren Flügeln oder Schaufeln ausgebildet ist. Der Pumpenrotor 12 ist auf einer Achse 14 angeordnet und drehfest mit dieser verbunden. Die Achse 14 wird vom Rotor 2 des Drehantriebs 1 angetrieben. Die Blutpumpe 10 ist hier als Zentrifugalpumpe ausgebildet. Das zu fördernde Blut gelangt durch einen mit dem Blutkreislauf verbundenen Eingang zum Pumpenrotor 12 wie dies der Pfeil E in Fig. 3 andeutet und wird von dem sich drehenden Pumpenrotor 12 zum Ausgang gefördert. Durch den Ausgang gelangt das Blut zurück in den Blutkreislauf wie dies der Pfeil A in Fig. 3 andeutet.

**[0048]** Die Blutpumpe 10 mit dem Drehantrieb 1 kann beispielsweise nach dem Prinzip der Spaltröhrrpumpe bzw. des Spaltröhrrmotors ausgestaltet sein.

**[0049]** Die Achse 14 und/oder der Rotor 2 des Drehantriebs 1 können mittels mindestens einer magnetischen Lagervorrichtung gelagert sein. Dazu kann eine separate, das heisst von dem Drehantrieb 1 verschiedene magnetische Lagervorrichtung für den Rotor 2 bzw. die Achse 14 vorgesehen sein. Es ist aber auch möglich, dass die magnetische Lagervorrichtung in den Drehantrieb 1 integriert ist. Dazu kann der Drehantrieb 1 als lagerloser Motor ausgestaltet sein, so wie dies beispielsweise in der WO-A-96/31934 offenbart ist. Der lagerlose Motor verdankt seinen Namen der Tatsache, dass der Stator 3 als Antriebs- und Lagerstator ausgestaltet ist, der den Rotor 2 sowohl magnetisch lagert als auch antreibt. Das bedeutet, bei einem lagerlosen Motor bilden das Magnetlager und der Drehantrieb eine nicht trennbare körperliche Einheit. Beim lagerlosen Motor umfasst der Stator 3 neben der Antriebswicklung ferner eine Steuerwicklung. Mit diesen beiden Wicklungen ist ein magnetisches Drehfeld generierbar, welches zum einen ein antreibendes Drehmoment auf den Rotor 2 ausübt, und welches zum anderen eine beliebig einstell-

bare Querkraft auf den Rotor 2 ausübt, sodass dessen radiale Position aktiv regelbar ist. Bezüglich der axialen Richtung und bezüglich Verkippungen relativ zur Drehachse ist der permanentmagnetisch erregte Rotor 2 passiv magnetisch, das heisst nicht ansteuerbar durch Reluktanzkräfte stabilisiert. Bezüglich weiterer Details sei hier auf die WO-A-96/31934 verwiesen. Es können jedoch noch zusätzliche Lager, wie beispielsweise magnetische Axiallager oder hydrodynamische Lager für die Lagerung des Rotors 2 des Drehantriebs 1 bzw. die Achse 14 vorgesehen sein.

**[0050]** Eine weitere Variante für die Blutpumpe 10 besteht darin, den Rotor 2 des Drehantriebs 1 als Pumpenrotor zum Fördern des Bluts auszugestalten. Bei dieser Ausgestaltung, die in der WO-A-96/31934 als Integralrotor bezeichnet wird, ist der Pumpenrotor 12 identisch mit dem Rotor 2 des Drehantriebs 1. Bezüglich konkreter Beispiele, wie ein solcher Rotor 2, 12 ausgebildet sein kann, wird auf die WO-A-96/31934 verwiesen. Dadurch, dass der Rotor 2 des Drehantriebs als Pumpenrotor mit Flügeln oder Schaufeln zum Fördern des Bluts ausgestaltet ist, lässt sich eine besonders platzsparende und kompakte Blutpumpe realisieren.

**[0051]** Für eine besonders sichere Blutpumpe 10 ist es vorteilhaft, wenn ausser dem fehlertoleranten Drehantrieb 1 eine ebenfalls fehlertolerante magnetische Lagervorrichtung für den Rotor 2 bzw. die Achse 14 vorgesehen ist. Dies gilt sowohl für den Fall, dass die magnetische Lagervorrichtung nach dem Prinzip des lagerlosen Motors in den Drehantrieb 1 integriert ist als auch für den Fall, dass mindestens eine separate, das heisst vom Drehantrieb 1 verschiedene magnetische Lagervorrichtung für den Rotor 2 bzw. die Achse 14 vorgesehen ist.

**[0052]** Eine solche fehlertolerante magnetische Lagervorrichtung wird in der europäischen Patentanmeldung Nr. 98810956.7 offenbart. Diese fehlertolerante magnetische Lagervorrichtung umfasst einen Stator (den Lagerstator) mit einer mindestens drei Stränge aufweisenden Steuerwicklung zum Erzeugen eines magnetischen Steuerfelds, mit welchem die Position des Rotors 2 bzw. der Achse 14 bezüglich des Lagerstators regelbar ist, wobei jeder Strang zu einer anderen elektrischen Phase gehört, sowie eine Stelleinrichtung, die in einem ersten Betriebsmodus jeden Strang mit jeweils einem Phasenstrom oder jeweils einer Phasenspannung als Stellgrösse versorgt. Es sind Mittel vorgesehen, um die Stellgrösse für jeden Strang unabhängig von der Stellgrösse für die anderen Stränge zu regeln. Ferner ist eine Überwachungseinheit vorgesehen, welche die Lagervorrichtung in einen zweiten Betriebsmodus umschalten kann, in welchem eine reduzierte Anzahl von Phasen, die mindestens zwei ist, das magnetische Steuerfeld erzeugt.

**[0053]** Das magnetische Steuerfeld ist ein magnetisches Drehfeld.

**[0054]** Die magnetische Lagervorrichtung gemäss der europäischen Patentanmeldung Nr. 98810956.7

kann entweder nach dem Prinzip des lagerlosen Motors ausgebildet sein oder als separate magnetische Lagervorrichtung. Im erstgenannten Fall ist der Lagerstator identisch mit dem Stator 3 des Drehantriebs 1, der folglich als Antriebs- und Lagerstator ausgebildet ist. Das heisst neben der mindestens zweiphasigen Antriebswicklung ist ferner die mindestens dreiphasige Steuerwicklung auf dem gleichen Stator vorgesehen.

**[0055]** Die fehlertolerante Lagervorrichtung kann in zwei Betriebsmodi betrieben werden. Im ersten Betriebsmodus wird das magnetische Steuerfeld mit allen Phasen der drei- oder höherphasigen Steuerwicklung, also mit allen ihren Strängen, generiert. Im zweiten Betriebsmodus wird das magnetische Steuerfeld nur noch mit einer reduzierten Anzahl von Phasen, die jedoch mindestens zwei beträgt, erzeugt. Es werden also nicht mehr alle Stränge der Steuerwicklung verwendet, einer oder mehrere Stränge der Steuerwicklung sind in diesem zweiten Betriebsmodus "abgeschaltet". Eine zweiphasige Steuerwicklung reicht nämlich aus, um das für die Regelung der radialen Position des Rotors 2 bzw. der Achse 14 bezüglich des Lagerstators benötigte Steuerfeld zu generieren. Dazu ist es jedoch notwendig, dass die beiden Phasenströme oder Phasenspannungen unabhängig voneinander geregelt werden können.

**[0056]** Durch die beiden Betriebsmodi ist es möglich, beim Auftreten eines Fehlers in einer der Phasen, beispielsweise beim Ausfall eines Wicklungsstrangs aufgrund eines Leitungsbruchs oder eines Kurzschlusses oder beim Ausfall des Verstärkers, der diese Phase versorgt, die Lagervorrichtung mit einer reduzierten Anzahl von Phasen weiterhin zu betreiben, ohne dass Zugeständnisse an das ordnungsgemässe Funktionieren der magnetischen Lagerung vonnöten sind. Diese Fehlertoleranz, nämlich auch beim Ausfall einer Phase der Steuerwicklung noch einen sicheren Betrieb der magnetischen Lagervorrichtung zu gewährleisten, bedeutet eine enorme Steigerung der Betriebssicherheit im Vergleich zu anderen Magnetlagern.

**[0057]** Vorzugsweise überwacht die Überwachungseinheit das Funktionieren jeder einzelnen Phase und schaltet beim Auftreten eines Fehlers in einer Phase die Lagervorrichtung in den zweiten Betriebsmodus um, in welchem nur noch die Phasen ohne Fehler das magnetische Steuerfeld erzeugen.

**[0058]** Wie bereits erwähnt ist es für den Fall, dass die Steuerwicklung nur noch zweiphasig betrieben wird, notwendig, dass der Phasenstrom oder die Phasenspannung in den beiden Strängen der Steuerwicklung unabhängig voneinander regelbar sind. Üblicherweise werden die Phasenströme oder die Phasenspannungen für die einzelnen Phasen von einer Verstärkereinheit bereitgestellt, die in der Stelleinrichtung enthalten ist.

**[0059]** Bei einer ersten Ausführungsform der fehlertoleranten Lagervorrichtung umfassen die Mittel zum unabhängigen Regeln der Stellgrösse (Phasenstrom oder Phasenspannung) einen belastbaren Sternpunkt, mit dem jede Phase verbunden ist, und der auf ein Po-

tential gelegt ist, welches zwischen den beiden Betriebspotentialen der Verstärkereinheit liegt. Bei üblichen dreiphasigen Steuerwicklungen sind die drei Stränge jeweils mit einem gemeinsamen Sternpunkt verbunden, wobei die Bedingung erfüllt sein muss, dass die Summe der Phasenströme im Sternpunkt Null ist. Durch die Massnahme, den Sternpunkt belastbar zu machen, das heisst ihn auf ein belastbares Potential zu legen, kann diese Bedingung aufgehoben werden, sodass jeder Phasenstrom bzw. jede Phasenspannung unabhängig von den anderen regelbar ist.

**[0060]** Bei einer zweiten Ausführungsform umfasst die Verstärkereinheit als Mittel zum unabhängigen Regeln der Stellgrösse (Phasenstrom oder Phasenspannung) einen separaten Leistungsverstärker für jede Phase, der als H-Brückenschaltung ausgestaltet ist. Auch diese Massnahme ermöglicht ein unabhängiges Regeln der einzelnen Phasenströme oder Phasenspannungen für die Lagervorrichtung.

**[0061]** Gemäss einem weiterführenden Aspekt hat die fehlertolerante magnetische Lagervorrichtung mindestens drei Positionssensoren zum Bestimmen der radialen Position des Rotors 2 bzw. der Achse 14 in einem Statorsystem, das bezüglich des Lagerstators ortsfest ist. Da prinzipiell zwei Positionssensoren ausreichen, um die radiale Position des Rotors bzw. der Achse im Statorsystem zu bestimmen, lässt sich durch die Verwendung von mindestens drei Positionssensoren eine Fehlertoleranz der Positionssensorik, welche wesentlich für die Regelung der Position des zu lagernden Körpers und damit den Betrieb der Lagervorrichtung ist, erreichen. Beim Ausfall eines Positionssensors ist nämlich die radiale Position des Körpers immer noch eindeutig mittels der verbleibenden Positionssensoren möglich. Dies bedeutet eine weitere Erhöhung der Betriebssicherheit der magnetischen Lagervorrichtung.

**[0062]** Vorzugsweise ist eine Positionseinheit vorgesehen, welche die Signale der Positionssensoren mittels einer Transformation in ein zweikomponentiges Positionssignal umwandelt, dessen eine Komponente die X-Koordinate und dessen andere Komponente die Y-Koordinate des zu lagernden Körpers im Statorsystem repräsentiert.

**[0063]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind die drei Positionssensoren so angeordnet, dass jeweils zwei benachbarte Positionssensoren bezüglich der Umfangsrichtung des Lagerstators um einen Winkel von 120° zueinander versetzt sind. Bei dieser Anordnung ist es nämlich auf besonders einfache Weise möglich, den Ausfall eines Positionssensors zu kompensieren. Falls der defekte Positionssensor das Signal Null liefert, ist prinzipiell überhaupt keine Massnahme zur Kompensation notwendig. Die Transformation in das zweikomponentige Positionssignal kann mit unveränderter Transformationsmatrix durchgeführt werden und führt dennoch zu einer korrekten Positionsregelung.

**[0064]** Vorzugsweise überwacht die Positionseinheit das Funktionieren der Positionssensoren. Dies kann

beispielsweise so erfolgen, dass die Positionseinheit für jeden Positionssensor überprüft, ob das von ihm gelieferte Signal oder der Mittelwert mehrerer seiner Signale innerhalb eines vorgebbaren Toleranzbereichs liegt.

Auch ist es möglich, dass die Positionseinheit mittels des Signals von mindestens einem der Positionssensoren die anderen Positionssensoren überwacht.

**[0065]** Detektiert die Positionseinheit bei der oben erwähnten 120°-Anordnung der Positionssensoren das Auftreten eines Fehlers, so setzt sie das Signal des zugehörigen Positionssensors vor der Transformation auf Null und führt dann die Transformation mit der gleichen Transformationsmatrix durch wie im Falle, dass alle Positionssensoren korrekt arbeiten.

**[0066]** Falls der Winkel zwischen benachbarten Positionssensoren nicht 120° beträgt, so ist im allgemeinen beim Ausfall eines Positionssensors eine Änderung der Transformation notwendig, um eine korrekte Positionsregelung zu gewährleisten.

**[0067]** Im Falle des Auftretens eines Fehlers bei einem Positionssensor kann dann die Positionseinheit eine andere Transformation zur Bestimmung des Positionssignals auswählen, in welche nur die Signale von fehlerfreien Positionssensoren eingehen.

**[0068]** Bezüglich weiterer Details einer solchen fehlertoleranten magnetischen Lagervorrichtung sei auf die europäische Patentanmeldung Nr. 98810956.7 verwiesen.

**[0069]** Falls der permanentmagnetisch erregte elektrische Drehantrieb 1 und das fehlertolerante Magnetlager gemeinsam als lagerloser Motor ausgebildet sind, ist der Rotor 2 vorzugsweise scheiben- oder ringförmig ausgestaltet.

## Patentansprüche

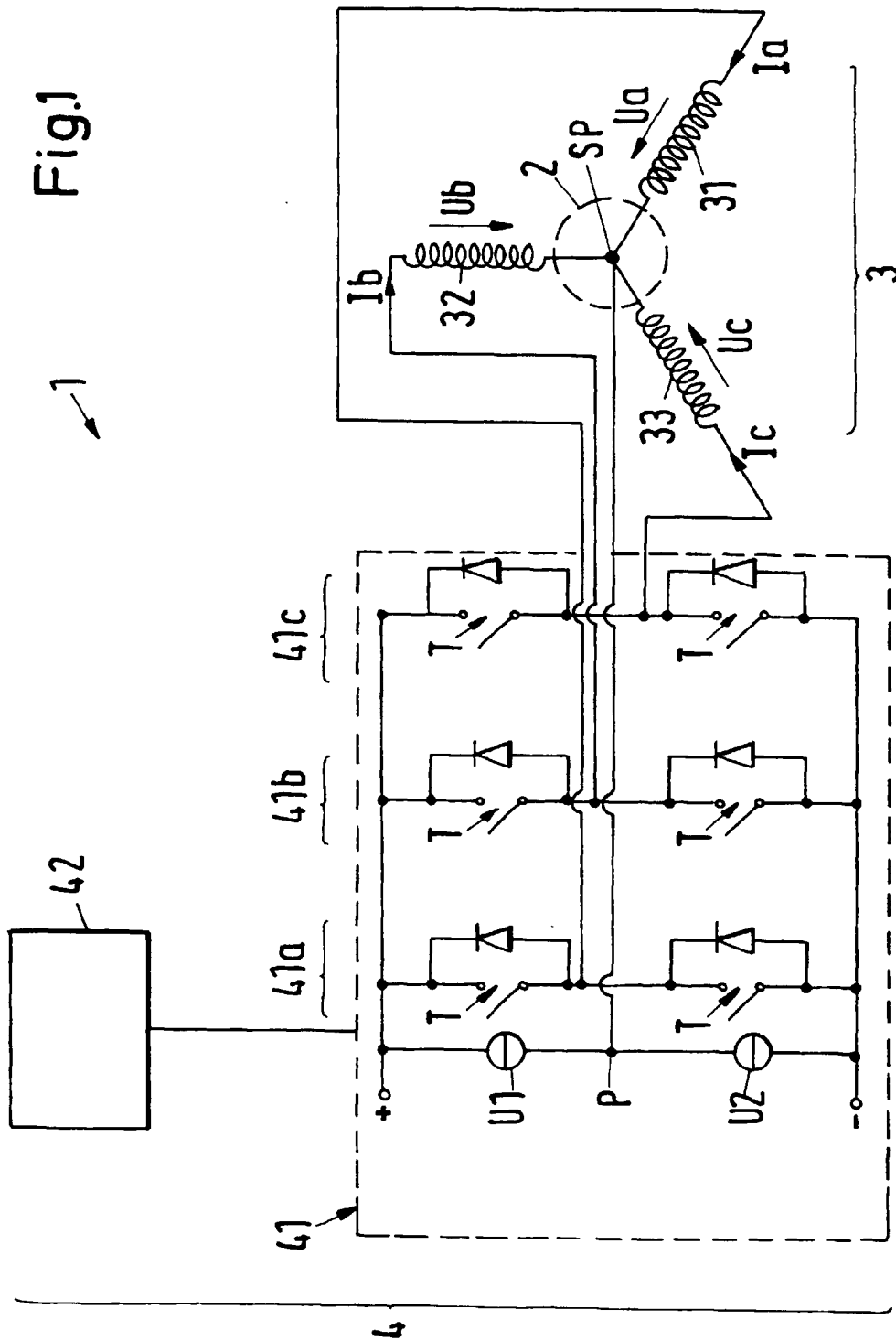
1. Permanentmagnetisch erregter elektrischer Drehantrieb für eine Blutpumpe, mit einem permanentmagnetischen Rotor (2) und einem Stator (3), welcher Stator (3) eine mindestens zwei Stränge (31,32,33) aufweisende Antriebswicklung zum Erzeugen eines magnetischen Antriebsfelds umfasst, das ein Drehmoment auf den Rotor (2) bewirkt, wobei jeder Strang (31,32,33) zu einer anderen elektrischen Phase gehört, ferner mit einer Stelleinrichtung (4), die jeden Strang (31,32,33) jeweils mit einem Phasenstrom (Ia,Ib,Ic) oder jeweils mit einer Phasenspannung (Ua,Ub,Uc) als Stellgrösse versorgt, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (4) für jeden Strang einen separaten Leistungsverstärker (41a,41b,41c) umfasst, sodass die Stellgrösse für jeden Strang (31,32,33) unabhängig von der Stellgrösse für die anderen Stränge regelbar ist.
2. Drehantrieb nach Anspruch 1, bei welchem ein belastbarer Sternpunkt (SP) vorgesehen ist, der mit



jedem Strang (31,32,33) der Antriebswicklung verbunden ist.

3. Drehantrieb nach Anspruch 2 mit zwei stabilisierten Spannungsquellen (U1,U2) zur Versorgung der Stelleinrichtung (4), wobei die Spannungsquellen (U1,U2) einen gemeinsamen Pol (P) aufweisen und wobei der belastbare Sternpunkt (SP) auf dem gleichen Potential liegt wie der gemeinsame Pol (P) der Spannungsquellen (U1,U2). 5 10
4. Drehantrieb nach Anspruch 1, bei welchem jeder Strang (31,32,33) der Antriebswicklung zwei elektrische Anschlussleitungen (51,52) aufweist, wobei die Anschlussleitungen (51,52) eines Strangs (31,32,33) jeweils getrennt und unabhängig von den übrigen Anschlussleitungen sind, und bei welchem jeder Leistungsverstärker (41a,41b,41c) mit genau zwei Anschlussleitungen (51,52) verbunden ist, wobei diese beiden Anschlussleitungen (51,52) 15 20 zum selben Strang (31,32,33) gehören.
5. Drehantrieb nach Anspruch 1 oder 4, bei welchem jeder Leistungsverstärker (41a,41b,41c) als H-Brückenschaltung ausgestaltet ist. 25
6. Drehantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche mit einem Überwachungsmodul (6), welche beim Auftreten eines Fehlers in einer der elektrischen Phasen diese deaktiviert. 30
7. Drehantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welcher für jede elektrische Phase eine Überstromsicherung (61) vorgesehen ist. 35
8. Drehantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem der Drehantrieb (1) als lagerloser Motor ausgebildet ist, der den Rotor (2) des Drehantriebs (1) magnetisch lagert, wobei der Stator (3) als Antriebs- und Lagerstator ausgestaltet ist, der ausser der Antriebswicklung ferner eine Steuerwicklung umfasst. 40
9. Blutpumpe mit einem permanentmagnetisch erregten elektrischen Drehantrieb (1) gemäss einem der vorangehenden Ansprüche. 45
10. Blutpumpe nach Anspruch 9, wobei der Rotor (2) des Drehantriebs als Pumpenrotor zum Fördern des Bluts ausgestaltet ist. 50
11. Blutpumpe nach Anspruch 9 oder 10 mit einer fehlertoleranten magnetischen Lagervorrichtung für einen Rotor (2) oder für eine Achse (14), welche Lagervorrichtung einen Lagerstator umfasst mit einer mindestens drei Stränge aufweisenden Steuerwicklung zum Erzeugen eines magnetischen Steuerfelds, mit welchem die Position des Rotors (2) 55

bzw. der Achse (14) bezüglich des Lagerstators regelbar ist, wobei jeder Strang zu einer anderen elektrischen Phase gehört, sowie eine Stelleinrichtung, die in einem ersten Betriebsmodus jeden Strang mit jeweils einem Phasenstrom oder jeweils einer Phasenspannung als Stellgrösse versorgt, wobei Mittel vorgesehen sind, um die Stellgrösse für jeden Strang unabhängig von der Stellgrösse für die anderen Stränge zu regeln, sowie eine Überwachungseinheit, welche die Lagervorrichtung in einen zweiten Betriebsmodus umschalten kann, in welchem eine reduzierte Anzahl von Phasen, die mindestens zwei ist, das magnetische Steuerfeld erzeugt.



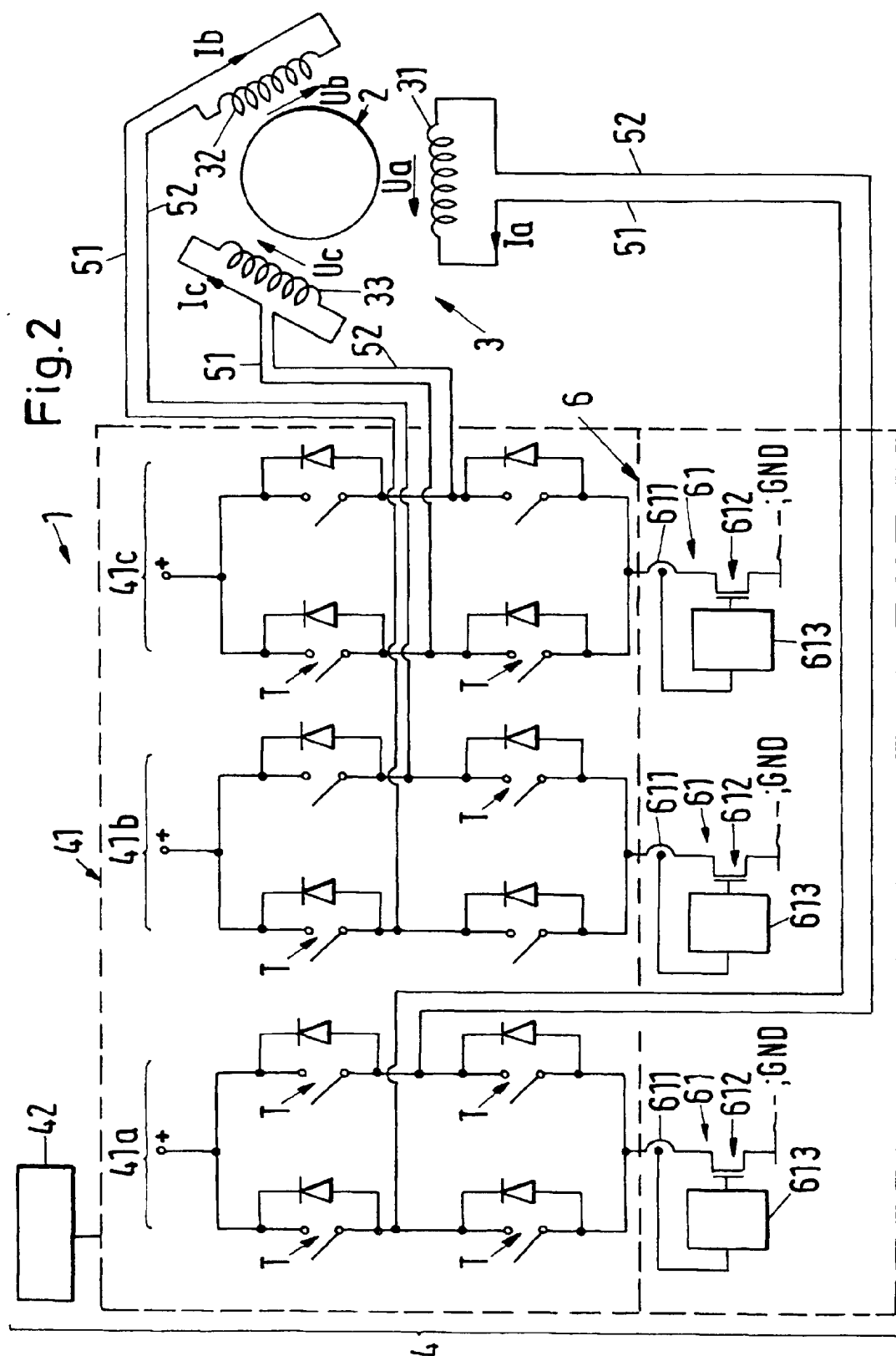
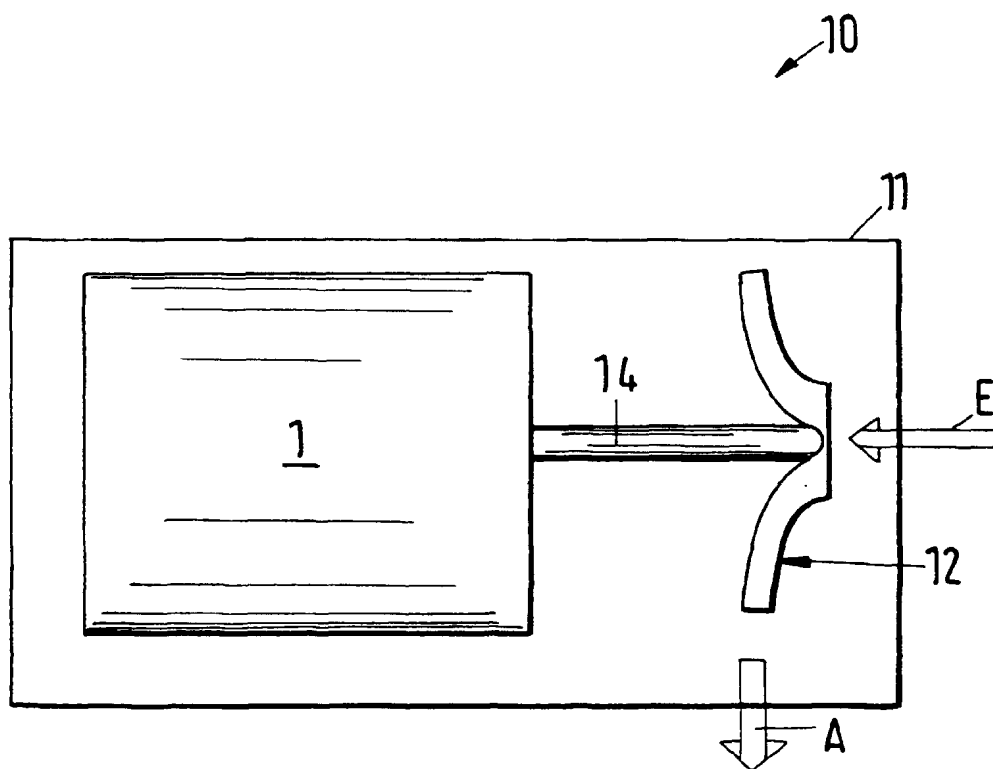


Fig.3





Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 81 0553

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 681 (E-1649), 21. Dezember 1994 (1994-12-21) & JP 06 269144 A (SHINKO ELECTRIC CO LTD), 22. September 1994 (1994-09-22)	1,4,5	H02K7/09
Y	* Zusammenfassung *	6-11	
X	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 434 (E-1592), 12. August 1994 (1994-08-12) & JP 06 133493 A (SHINKO ELECTRIC CO LTD), 13. Mai 1994 (1994-05-13) * Zusammenfassung *	1,4,5	
X	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 007, 31. Juli 1996 (1996-07-31) & JP 08 084491 A (EBARA CORP), 26. März 1996 (1996-03-26) * Zusammenfassung *	1-3	
X	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 003 (E-1301), 6. Januar 1993 (1993-01-06) & JP 04 236188 A (TOSHIBA CORP), 25. August 1992 (1992-08-25) * Zusammenfassung *	1,4,5	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Y	--- WO 98 11650 A (SULZER ELECTRONICS AG ;HUGEL JOERG (CH); SCHOEB RETO (CH); LUST AN) 19. März 1998 (1998-03-19) * Seite 5, Zeile 32 - Seite 6, Zeile 10; Abbildung 1 *	8-11	H02K F16C H02P
	--- -/--		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>BERLIN</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>23. September 1999</b>	
		Prüfer <b>Roy, C</b>	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
<p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet  Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer  anderen Veröffentlichung derselben Kategorie  A : technologischer Hintergrund  O : mündliche Offenbarung  P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze  E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder  nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist  D : in der Anmeldung angeführtes Dokument  L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>&amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes  Dokument</p>			

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 81 0553

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
Y	US 5 578 880 A (LYONS JAMES P ET AL) 26. November 1996 (1996-11-26) * Spalte 2, Zeile 64 - Spalte 3, Zeile 16 * * Spalte 5, Zeile 30 - Zeile 63; Ansprüche 1,2,8; Abbildung 3 * ---	6,7,11	
X	GB 2 276 050 A (DOWTY DEFENCE & AIR SYST) 14. September 1994 (1994-09-14) * Seite 4, Zeile 1-3; Abbildung 1 * * Seite 8, Absatz 1 * * Seite 9, Absatz 2 * ---	1,4-7	
Y		2,3	
Y	US 5 491 622 A (CAROSA PAUL F) 13. Februar 1996 (1996-02-13) * Spalte 1, Zeile 11 - Zeile 26; Abbildung 1 * -----	2,3	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTESACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Recherchenort BERLIN		Abschlußdatum der Recherche 23. September 1999	Prüfer Roy, C
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03/82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 81 0553

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

23-09-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 06269144 A	22-09-1994	KEINE	
JP 06133493 A	13-05-1994	KEINE	
JP 08084491 A	26-03-1996	KEINE	
JP 04236188 A	25-08-1992	KEINE	
WO 9811650 A	19-03-1998	CA 2237203 A EP 0860046 A	19-03-1998 26-08-1998
US 5578880 A	26-11-1996	KEINE	
GB 2276050 A	14-09-1994	KEINE	
US 5491622 A	13-02-1996	KEINE	

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82